HOJA SEPARADORA DEJADA INTENCIONALMENTE

LE CORRESPONDE EL FOLIO

Mina de Cobre Panamá

ANEXO XXVII

Modelo GoldSim para el Transporte de Solutos en Agua Subterránea

Enviado a:

Minera Panamá S.A.

Setiembre 2010 **07-1334-0018**

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN **PÁGINA**

1 INTRODUCCIÓN 1

2 ENFOQUE DEL MODELAMIENTO 2
2.1 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO GOLDSIM 2
2.2 MARCO DEL MODELO CONCEPTUAL 2
2.2.1 Fuente 3
2.2.2 Rutas 5
2.2.3 Receptores 5

3 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO 8

4 BIBLIOGRAFÍA 14

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen de las Concentraciones de la Condición Fuente Utilizadas en el Análisis GoldSim 4
Tabla 2-2 Geometría de la Ruta y Tiempos de Recorrido 6
Tabla 3-1 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, al Finalizar el Minado 10
Tabla 3-2 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, en la Fase de Post-cierre 12

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Estructura del Modelo GoldSim para la Etapa de Finalización de Minado (Años 0 a 30) 3
Figura 2-2 Estructura del Modelo GoldSim para el Post-cierre (años 30 a 100) 7
Figura 3-1 Carga de Masa de Cobre Simulada Desde el Agua Subterránea Hasta el Tajo Botija 9

1 INTRODUCCIÓN

El cálculo del transporte de sustancias disueltas se realizó para el Proyecto Mina de Cobre Panamá (el Proyecto) de Minera Panamá S.A. (MPSA) en el sitio de la mina, con el objeto de proporcionar estimaciones de las cargas de masa que se descargarían en los posibles receptores ubicados aguas abajo del nivel del agua subterránea afectada por la mina para los escenarios de finalización de las operaciones de minado y el post-cierre (definidos en la Sección 9.1.5), Los objetivos principales de este trabajo fueron:

- Construir un modelo analítico (GoldSim) que represente los parámetros de la fuente (los relaves), las rutas geológicas y los receptores del agua subterránea afectada por la mina al finalizar las operaciones de minado y después del post-cierre.
- Estimar las cargas de masa en el agua subterránea para cada uno de los parámetros de la fuente (los relaves) para cada uno de los receptores.

Este trabajo es una continuación de la evaluación hidrogeológica del área de la mina propuesta y del desarrollo y calibración de un modelo numérico de agua subterránea (Sección 9.1.5 y Anexo VI). El objetivo del modelo numérico de agua subterránea fue incluir la simulación de las condiciones de línea base y el pronóstico de impactos en los niveles del agua subterránea y las descargas a los cuerpos de agua superficial generadas por las actividades mineras propuestas. Para esta fase, las dimensiones de la ruta geológica, las propiedades hidráulicas del material y los tiempos de recorrido utilizados en los cálculos de transporte de sustancias disueltas se basaron en el resultado del modelo numérico del agua subterránea. Por su parte, los parámetros fuente utilizados para calcular el transporte de las sustancias disueltas se determinaron a partir del modelamiento de la calidad del agua (Sección 9.1.7 y Anexo XXVIII). En la Sección 2 de este anexo se describe el enfoque del modelamiento mientras que en la Sección 3 se resume los resultados.

La mezcla de la descarga de masa en el punto de descarga del agua subterránea en un cuerpo de agua superficial (el receptor más cercano), así como la mezcla que se produzca gradiente bajo más allá del punto de descarga inicial se evalúan en un cálculo aparte (Sección 9.1.7 y Anexo XXVIII).

2 ENFOQUE DEL MODELAMIENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO GOLDSIM

Con la finalidad de elaborar el modelamiento de transporte de sustancias disueltas para la instalación para el manejo de relaves (IMR) de la Mina de Cobre Panamá, se empleó un enfoque analítico utilizando el software GoldSim (versión 10.0). Este software es un programa de computadora disponible en el mercado, altamente gráfico y flexible, objeto-orientado[1] diseñado con el fin de ayudar al usuario a comprender los factores que controlan el desempeño de un sistema artificial o natural (conforme lo defina un modelo matemático especificado para el usuario) y para poder pronosticar el comportamiento futuro del sistema definido. El programa GoldSim se documenta plenamente en la Guía de Usuarios Principales (GTG 2009). Para la evaluación del transporte de masa del sistema de flujo de agua subterránea gradiente abajo de la IMR, GoldSim se utiliza específicamente para simular el transporte de sustancias disueltas desde debajo de los relaves a través del lecho rocoso subyacente, hasta los receptores del agua superficial gradiente abajo (por ejemplo, Río Uvero, estanque de limpieza, depósito de almacenamiento de roca oeste, entre otros).

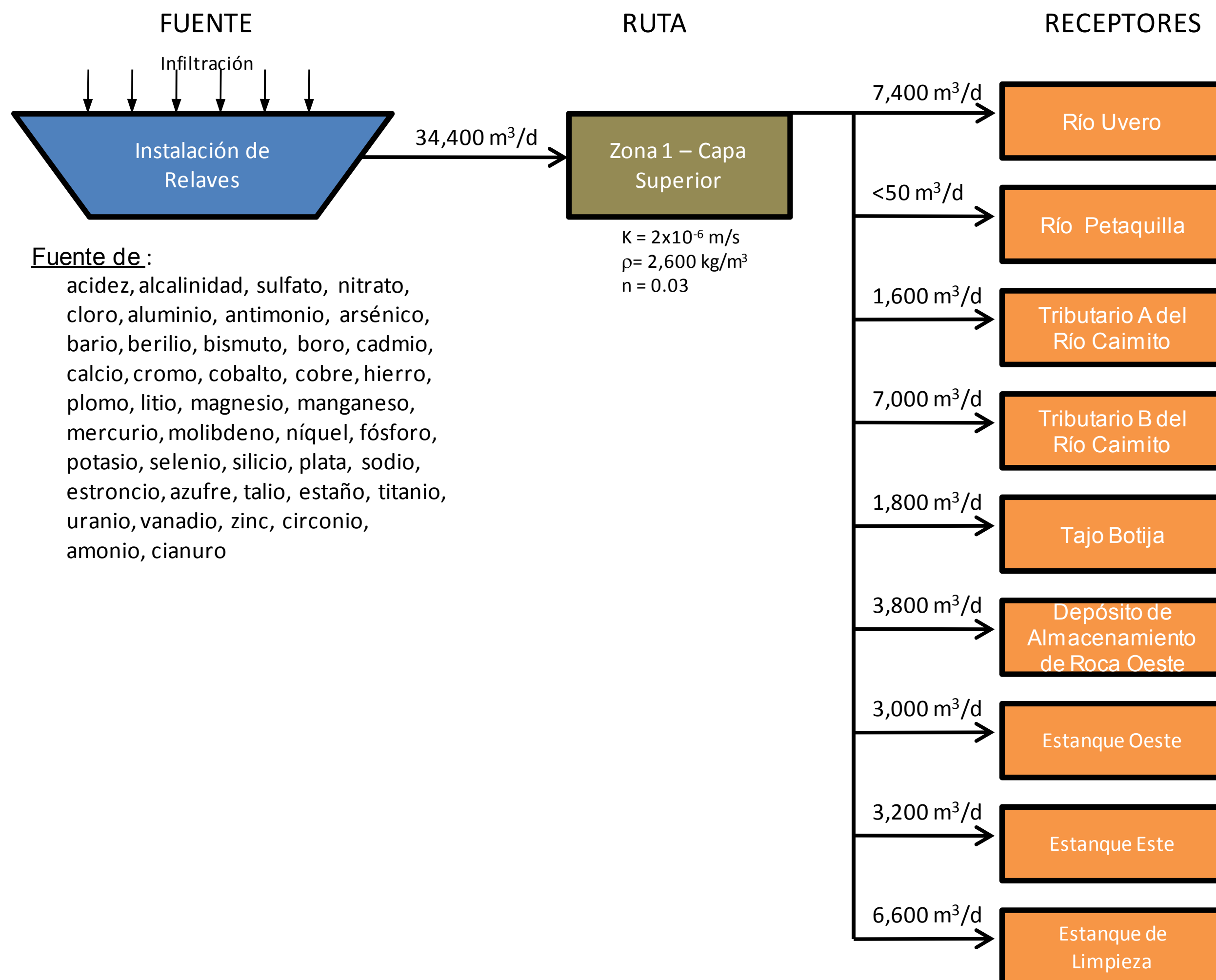
2.2 MARCO DEL MODELO CONCEPTUAL

En la Figura 2-1, se presenta un esquema general del modelo de transporte de sustancias disueltas GoldSim, identificando las fuentes, las rutas y los receptores incluidos en el modelo. A modo de resumen, la masa proveniente de la IMR migraría a través de una ruta geológica sub-superficial, descargando finalmente en los receptores de agua superficial gradiente abajo. Los procesos de descarga de masa y migración sub-superficial se simulan en un solo modelo GoldSim en dos períodos de tiempo individuales: finalización del minado (años 0 a 30) y post-cierre (años 30 a 100). Las condiciones de finalización del minado se asumen en la simulación para un período desde 0 a 30 años y las condiciones de post-cierre para un período desde 30 a 100 años. Cabe recalcar que la mezcla en los receptores de agua superficial no se maneja dentro del modelo GoldSim, sino en cálculos separados, conforme se describe en el memorando técnico interno indicado (Sección 9.1.7 y Anexo XXVIII). A continuación se muestra una descripción detallada del modelo y de los cálculos de modelamiento que se están ejecutando dentro de GoldSim.

---

[1] Un software "objeto orientado" es aquel que se basa en un tipo de programación basada en "objetos" los cuales constituyen un conjunto de funciones o procedimientos los cuales se relacionan frecuentemente a un concepto en el mundo real.

Figura 2-1 Estructura del Modelo GoldSim para la Etapa de Finalización de Minado (Años 0 a 30)



Notas: Los caudales son aproximados y se basan en simulaciones FEFLOW.
El análisis GoldSim utilizó un caudal de capa superior de la Zona 1 hacia el Río Petaquilla de 50 m^3/d.
m^3/d = metros cúbicos por día, m/s = metros por segundo, kg/m^3 = kilogramos por metro cúbico.

2.2.1 Fuente

La fuente de masa incluida en el modelo GoldSim representa la IMR durante las fases de operación y cierre, e incluye 42 parámetros para determinar el parámetro fuente, conforme se definió a partir del modelado de la calidad del agua (Sección 9.1.7 y Anexo XXVIII). Para cada fase de la simulación (operación y cierre), se asumió una condición de fuente constante que no varía espacialmente dentro de los relaves,

haciendo que cada ruta tenga la misma condición límite para la condición de fuente. En la Tabla 2-1, se presenta una lista de los parámetros incluidos en el modelamiento del transporte de sustancias disueltas y las concentraciones promedio aplicadas para representar la condición de fuente.

Tabla 2-1 Resumen de las Concentraciones de la Condición Fuente Utilizadas en el Análisis GoldSim

Parámetro	Concentración [mg/L]		Parámetro	Concentración [mg/L]	
	Finalización del Minado (0 a 30 años)	Post-cierre (30 a 100 años)		Finalización del Minado (0 a 30 años)	Post-cierre (30 a 100 años)
acidez	22.3	74.7	mercurio	0.000006	0.000011
alcalinidad	42.2	19.3	molibdeno	0.057	0.094
sulfato	23.4	87.6	níquel	0.00076	0.00267
nitrato	1.6	3.1	fósforo	5.1	11.0
cloro	2.4	6.8	potasio	2.2	2.2
aluminio	0.1	0.5	selenio	0.0012	0.0032
antimonio	0.0005	0.0009	silicio	4.9	7.9
arsénico	0.0037	0.0011	plata	0.00005	0.00027
bario	0.041	0.018	sodio	9.9	28.2
berilio	0.000023	0.000085	estroncio	0.15	0.07
bismuto	0.000020	0.000048	azufre	14.8	26.7
boro	0.005	0.018	talio	0.000015	0.000025
cadmio	0.00006	0.00030	estaño	0.0031	0.0015
calcio	18.2	24.4	titanio	0.0015	0.0043
cromo	0.0061	0.0174	uranio	0.00015	0.00012
cobalto	0.0008	0.0057	vanadio	0.0022	0.0094
cobre	0.0383	0.0868	zinc	0.0076	0.0582
hierro	0.0461	0.2803	zirconio	0.00020	0.00047
plomo	0.00014	0.00067	amonio	0.0448	0.0001
litio	0.00172	0.00258	cianuro	0.2	0.0302
magnesio	2.4	3.7	nitrito	0.0	0.0
manganeso	0.05	0.12	flúor	0.0	0.0

Nota: mg/L = miligramos por litro.

2.2.2 Rutas

El modelo de flujo de agua subterránea FEFLOW del Proyecto (Sección 9.1.5 y Anexo XXVI) utilizó el seguimiento de partículas con el fin de determinar las diversas rutas que se incluirán en el modelo de transporte GoldSim. La filtración simulada de agua subterránea desde la IMR ocurrió en tres direcciones generales: noroeste hacia el Río Uvero, este hacia el Río Caimito y sur hacia el Tajo Botija. Se asumió que todo el flujo de agua subterránea afectada por los relaves ocurre a través de la Zona 1 o la capa superior (saprolita y lecho rocoso superior hasta una profundidad de aproximadamente 100 metros [m]), ya que ésta es la unidad con mayor transmisividad debajo de la IMR. Las propiedades físicas relevantes de la saprolita/lecho rocoso superior especificadas en el modelo GoldSim corresponden a una conductividad hidráulica de 2×10^{-6} metros por segundo (m/s) y una porosidad efectiva de 0.03.

La geometría de la ruta del agua subterránea se establece en el modelo GoldSim especificando una longitud (la distancia más corta recorrida por una partícula de agua subterránea entre la fuente y el receptor) y un área transversal a través de la cual se produce el transporte de sustancias disueltas (es decir el producto del ancho de la ruta del flujo asociado con las cargas de masa del área fuente y el espesor de la unidad geológica). El caudal del agua subterránea asociado con cada ruta para cada fase minera (operación y cierre) también se especificó en el programa, tomando como base los caudales simulados obtenidos en el modelo FEFLOW (Sección 9.1.5 y Anexo XXVI). En la Tabla 2-2, se presenta un resumen general de la geometría de cada ruta de flujo y los caudales establecidos para cada ruta, tomando como base el modelo de flujo de agua subterránea FEFLOW.

Para los cálculos de la evaluación del impactos, GoldSim calcula el transporte de sustancias disueltas utilizando la ecuación de advección-dispersión, y considerando también la dispersión mecánica. La dispersión longitudinal asumida para la saprolita/lecho rocoso superior corresponde al 10% de la longitud de la ruta, según lo indica Anderson (1984). La atenuación natural a lo largo de la ruta de flujo del lecho rocoso fracturado (por ejemplo adsorción, descomposición, reacciones geoquímicas, entre otros), no se consideró en el modelo. Los resultados del modelado GoldSim deben considerarse conservadores, ya que se desconoce hasta qué grado realmente ocurrirá la atenuación natural.

2.2.3 Receptores

Tomando como base los resultados del análisis de flujo del agua subterránea FEFLOW, el Río Uvero, el Río Petaquilla, el Río Caimito (dos tributarios), el tajo Botija, el depósito de almacenamiento de roca oeste, el estanque oeste, los estanques este y el estanque de limpieza se han identificado como los receptores de las descargas de

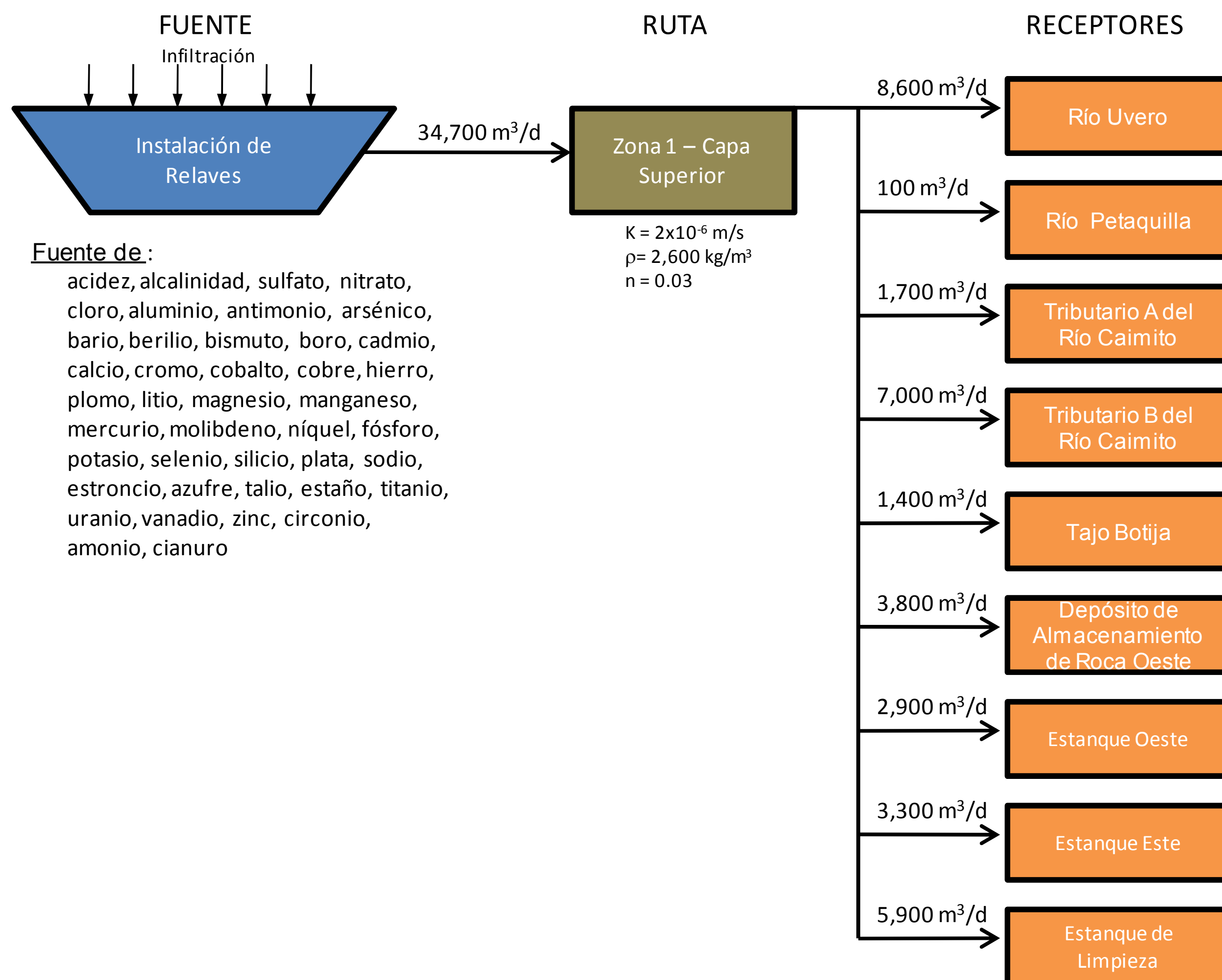
agua subterránea de la IMR. Los flujos de agua subterránea afectada por los relaves hacia los receptores durante las fases de operación y post-cierre se ilustran en la Figura 2-1 y la Figura 2-2, respectivamente.

Tabla 2-2 Geometría de la Ruta y Tiempos de Recorrido

Escenario de Finalización de Minado				
Ruta	**Tiempo de Recorrido [días]**	**Caudal [m^3/d]**	**Profundidad [m]**	**Ancho [m]**
estanque de limpieza	700	6,600	100	1,400
estanque de colección este	500	3,200	100	1,000
estanque de colección oeste	400	3,000	100	1,600
tajo abierto Botija	800	1,800	100	1,500
DARE oeste	500	3,800	100	1,800
Río Uvero	500	7,400	100	2,000
Río Caimito A	2,700	1,600	100	1,200
Río Caimito B	700	7,000	100	3,100
Río Petaquilla	25,300	50	100	600
Escenario de Post-cierre				
Ruta	**Tiempo de Recorrido [días]**	**Caudal [m^3/d]**	**Profundidad [m]**	**Ancho [m]**
estanque de limpieza	600	5,900	100	1,200
estanque de colección este	500	3,300	100	1,000
estanque de colección oeste	400	2,900	100	1,600
tajo abierto Botija	1000	1,400	100	1,400
DARE oeste	500	3,800	100	1,900
Río Uvero	500	8,600	100	2,200
Río Caimito A	2,800	1,700	100	1,200
Río Caimito B	600	7,000	100	3,000
Río Petaquilla	29,700	100	100	700

Nota: m^3/d = metros cúbicos por día; m = metros.

Figura 2-2 Estructura del Modelo GoldSim para el Post-cierre (años 30 a 100)



Notas: Los caudales son aproximados y se basan en simulaciones FEFLOW.
m^3/d = metros cúbicos por día, m/s = metros por segundo, kg/m^3 = kilogramos por metro cúbico.

3 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO

Para este estudio, el modelo GoldSim calcula el índice de la masa de las sustancias disueltas que se descargan en cada uno de los receptores. La mezcla de esta descarga de masa dentro de estos receptores y gradiente abajo, más allá del punto de descarga inicial, se evalúa en un cálculo aparte (Sección 9.1.7 y Anexo XXVIII).

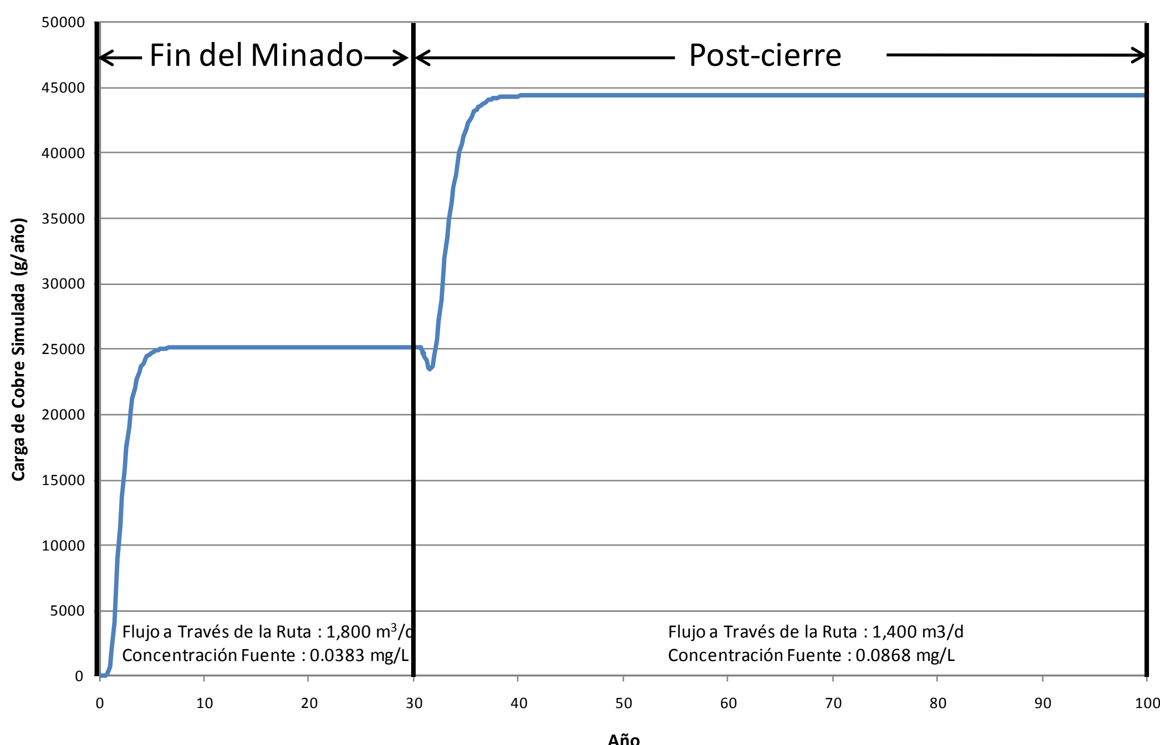
En la Figura 3-1, para fines ilustrativos, se presenta un ejemplo de resultados del modelamiento que muestra la carga de masa de cobre simulada que existiría en apórtela descarga de agua subterránea al tajo Botija. La curva que se muestra en la Figura 3-1 ilustra la naturaleza de las cargas de masa a los receptores de la siguiente manera:

- Para el inicio de la simulación, se pronostica un incremento relativamente marcado en el flujo de masa, pudiendo atribuirse a la carga de masa dispersada longitudinalmente que llega al receptor antes de la llegada de la carga advectiva.
- Después de aproximadamente 4.5 años, la carga de masa alcanza un nivel plano. Según se mencionó anteriormente, no se especifican reacciones o tasas de atenuación y, como las concentraciones de la condición fuente son constantes, el valor de carga de masa pico corresponde directamente al producto de la concentración de masa especificada en la fuente y el caudal de agua subterránea hacia el receptor. En este caso, la concentración fuente de cobre en los relaves al finalizar la fase de minado se especifica como de aproximadamente 0.0383 miligramos por litro (mg/L) y el caudal de agua subterránea al tajo Botija se especifica como 1,800 metros cúbicos por día (m^3/d). El producto de estos dos valores es de aproximadamente 25,200 gramos por año (g/año) lo cual corresponde a la carga de masa pico para el fin de la fase de minado, según se muestra en la Figura 3-1.
- En el año 30, las concentraciones fuente y los caudales de agua subterránea para cada receptor se cambian de los valores del escenario de fin del minado a los valores del escenario de post-cierre. Para el cobre, la concentración fuente aumenta mientras que el flujo de agua subterránea al tajo Botija disminuye simultáneamente. Conforme ocurren estos cambios, se observa una pequeña disminución en la carga de masa inmediatamente después del año 30, debido a que la masa de cobre que se transporta a través de la ruta está a una concentración más baja a la que había al finalizar la fase de minado (0.0383 mg/L) y comienza a salir de la ruta a una tasa más baja como consecuencia de la disminución instantánea en el flujo de agua subterránea a través de la misma ruta (es decir de 1,800 m^3/d a 1,400 m^3/d). Mientras que la concentración (más alta) del escenario de post-cierre (0.0868 mg/L) migra a través de la ruta, la carga de masa aumenta nuevamente superando el pico anterior.
- La carga de masa finalmente alcanza un segundo nivel plano, el cual corresponde al producto de la concentración fuente de post-cierre y el caudal de agua subterránea hacia el receptor. Para este escenario, la concentración fuente de

cobre se especifica como 0.0868 mg/L y el flujo de agua subterránea a través de la ruta corresponde a 1,400 m^3/d, generando una carga de masa de aproximadamente 44,400 g/año.

Los resultados de la carga de masa de cada sustancia disuelta tanto para el escenario de fin del minado como para el escenario de post-cierre se resumen en las Tablas 3-1 y 3-2, respectivamente.

Figura 3-1 Carga de Masa de Cobre Simulada Desde el Agua Subterránea Hasta el Tajo Botija



Notas: Los flujos son aproximados y se basan en simulaciones FEFLOW.

La ligera disminución en la carga de masa después del fin del minado se asocia con la disminución instantánea del flujo de agua subterránea que se produce a través de la ruta y el intervalo de retardo de la masa que se transporta a través de la ruta a concentraciones de nivel de cierre.

m^3/d = metros cúbicos por día, mg/L = miligramos por litro, g/año = gramos por año.

Tabla 3-1 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, al Finalizar el Minado

Parámetro	Tajo Botija [g/año]	Río Uvero [g/año]	Río Petaquilla [a] [g/año]	Río Caimito A [g/año]	Río Caimito B [g/año]	Estanque de limpieza [g/año]	Estanque este [g/año]	Estanque oeste [g/año]	Depósito de almacenamiento de roca (DARE) oeste [g/año]
acidez	1.47E+07	6.03E+07	1.52E+04	1.30E+07	5.70E+07	5.38E+07	2.61E+07	2.44E+07	3.10E+07
alcalinidad	2.77E+07	1.14E+08	2.87E+04	2.46E+07	1.08E+08	1.02E+08	4.93E+07	4.62E+07	5.85E+07
sulfato	1.54E+07	6.32E+07	1.59E+04	1.37E+07	5.98E+07	5.64E+07	2.73E+07	2.56E+07	3.25E+07
nitrato	1.05E+06	4.32E+06	1.09E+03	9.33E+05	4.08E+06	3.85E+06	1.87E+06	1.75E+06	2.22E+06
cloro	1.59E+06	6.54E+06	1.65E+03	1.41E+06	6.19E+06	5.84E+06	2.83E+06	2.65E+06	3.36E+06
aluminio	5.01E+04	2.06E+05	5.18E+01	4.45E+04	1.95E+05	1.84E+05	8.90E+04	8.35E+04	1.06E+05
antimonio	3.34E+02	1.37E+03	3.46E-01	2.97E+02	1.30E+03	1.23E+03	5.94E+02	5.57E+02	7.06E+02
arsénico	2.42E+03	9.93E+03	2.50E+00	2.15E+03	9.40E+03	8.86E+03	4.30E+03	4.03E+03	5.10E+03
bario	2.67E+04	1.10E+05	2.76E+01	2.37E+04	1.04E+05	9.79E+04	4.75E+04	4.45E+04	5.64E+04
berilio	1.48E+01	6.09E+01	1.53E-02	1.32E+01	5.76E+01	5.43E+01	2.63E+01	2.47E+01	3.13E+01
bismuto	1.32E+01	5.43E+01	1.36E-02	1.17E+01	5.13E+01	4.84E+01	2.35E+01	2.20E+01	2.79E+01
boro	3.43E+03	1.41E+04	3.55E+00	3.05E+03	1.34E+04	1.26E+04	6.11E+03	5.72E+03	7.25E+03
cadmio	4.08E+01	1.68E+02	4.22E-02	3.63E+01	1.59E+02	1.50E+02	7.26E+01	6.80E+01	8.62E+01
calcio	1.20E+07	4.93E+07	1.24E+04	1.07E+07	4.66E+07	4.40E+07	2.13E+07	2.00E+07	2.53E+07
cromo	3.99E+03	1.64E+04	4.12E+00	3.54E+03	1.55E+04	1.46E+04	7.09E+03	6.64E+03	8.41E+03
cobalto	4.99E+02	2.05E+03	5.16E-01	4.44E+02	1.94E+03	1.83E+03	8.87E+02	8.32E+02	1.05E+03
cobre	2.52E+04	1.03E+05	2.60E+01	2.24E+04	9.79E+04	9.23E+04	4.47E+04	4.19E+04	5.31E+04
hierro	3.03E+04	1.25E+05	3.14E+01	2.69E+04	1.18E+05	1.11E+05	5.39E+04	5.05E+04	6.40E+04
plomo	9.21E+01	3.79E+02	9.53E-02	8.19E+01	3.58E+02	3.38E+02	1.64E+02	1.54E+02	1.94E+02
litio	1.13E+03	4.65E+03	1.17E+00	1.01E+03	4.40E+03	4.15E+03	2.01E+03	1.89E+03	2.39E+03
magnesio	1.61E+06	6.62E+06	1.67E+03	1.43E+06	6.26E+06	5.91E+06	2.86E+06	2.68E+06	3.40E+06
manganeso	3.47E+04	1.43E+05	3.58E+01	3.08E+04	1.35E+05	1.27E+05	6.16E+04	5.78E+04	7.32E+04
mercurio	3.89E+00	1.60E+01	4.02E-03	3.46E+00	1.51E+01	1.43E+01	6.92E+00	6.49E+00	8.21E+00
molibdeno	3.74E+04	1.54E+05	3.87E+01	3.33E+04	1.46E+05	1.37E+05	6.65E+04	6.24E+04	7.90E+04
níquel	4.99E+02	2.05E+03	5.15E-01	4.43E+02	1.94E+03	1.83E+03	8.86E+02	8.31E+02	1.05E+03
fósforo	3.34E+06	1.37E+07	3.46E+03	2.97E+06	1.30E+07	1.23E+07	5.95E+06	5.57E+06	7.06E+06
potasio	1.47E+06	6.05E+06	1.52E+03	1.31E+06	5.72E+06	5.39E+06	2.61E+06	2.45E+06	3.10E+06
selenio	8.04E+02	3.30E+03	8.31E-01	7.14E+02	3.13E+03	2.95E+03	1.43E+03	1.34E+03	1.70E+03
silicio	3.22E+06	1.32E+07	3.33E+03	2.86E+06	1.25E+07	1.18E+07	5.72E+06	5.36E+06	6.79E+06
plata	3.01E+01	1.24E+02	3.11E-02	2.68E+01	1.17E+02	1.10E+02	5.35E+01	5.02E+01	6.36E+01
sodio	6.48E+06	2.67E+07	6.71E+03	5.76E+06	2.52E+07	2.38E+07	1.15E+07	1.08E+07	1.37E+07

Tabla 3-1 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, al Finalizar el Minado (continuación)

Parámetro	Tajo Botija [g/año]	Río Uvero [g/año]	Río Petaquilla [(a)] [g/año]	Río Caimito A [g/año]	Río Caimito B [g/año]	Estanque de limpieza [g/año]	Estanque este [g/año]	Estanque oeste [g/año]	Depósito de almacenamiento de roca (DARE) oeste [g/año]
estroncio	9.95E+04	4.09E+05	1.03E+02	8.85E+04	3.87E+05	3.65E+05	1.77E+05	1.66E+05	2.10E+05
azufre	9.76E+06	4.01E+07	1.01E+04	8.67E+06	3.79E+07	3.58E+07	1.73E+07	1.63E+07	2.06E+07
talio	9.73E+00	4.00E+01	1.01E-02	8.65E+00	3.78E+01	3.57E+01	1.73E+01	1.62E+01	2.05E+01
estaño	2.03E+03	8.36E+03	2.10E+00	1.81E+03	7.91E+03	7.46E+03	3.62E+03	3.39E+03	4.29E+03
titanio	9.57E+02	3.93E+03	9.89E-01	8.50E+02	3.72E+03	3.51E+03	1.70E+03	1.59E+03	2.02E+03
uranio	1.00E+02	4.13E+02	1.04E-01	8.93E+01	3.91E+02	3.68E+02	1.79E+02	1.67E+02	2.12E+02
vanadio	1.46E+03	6.02E+03	1.51E+00	1.30E+03	5.69E+03	5.37E+03	2.60E+03	2.44E+03	3.09E+03
zinc	5.03E+03	2.07E+04	5.20E+00	4.47E+03	1.96E+04	1.84E+04	8.94E+03	8.38E+03	1.06E+04
zirconio	1.31E+02	5.39E+02	1.36E-01	1.17E+02	5.10E+02	4.81E+02	2.33E+02	2.19E+02	2.77E+02
amonio	2.95E+04	1.21E+05	3.05E+01	2.62E+04	1.15E+05	1.08E+05	5.24E+04	4.91E+04	6.22E+04
cianuro total	1.31E+05	5.41E+05	1.36E+02	1.17E+05	5.11E+05	4.82E+05	2.34E+05	2.19E+05	2.78E+05

[(a)] Debido al bajo caudal del agua subterránea al Río Petaquilla, las cargas de masa no alcanzan el estado estacionario en la fase de fin del minado.

Nota: g/año = gramos por año.

Tabla 3-2 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, en la Fase de Post-cierre

Parámetro	Tajo Botija [g/año]	Río Uvero [g/ año]	Río Petaquilla[(a)] [g/ año]	Río Caimito A [g/ año]	Río Caimito B [g/ año]	Estanque de Limpieza [g/ año]	Estanque Este [g/ año]	Estanque Oeste [g/ año]	Depósito de Almacenamiento de Roca (DARE) Oeste [g/ año]
acidez	3.82E+07	2.35E+08	2.75E+06	4.64E+07	1.91E+08	1.61E+08	9.00E+07	7.91E+07	1.04E+08
alcalinidad	9.87E+06	6.06E+07	8.84E+05	1.20E+07	4.94E+07	4.16E+07	2.33E+07	2.05E+07	2.68E+07
sulfato	4.48E+07	2.75E+08	3.21E+06	5.44E+07	2.24E+08	1.89E+08	1.06E+08	9.28E+07	1.22E+08
nitrato	1.61E+06	9.89E+06	1.19E+05	1.96E+06	8.05E+06	6.79E+06	3.80E+06	3.34E+06	4.37E+06
cloro	3.45E+06	2.12E+07	2.50E+05	4.19E+06	1.73E+07	1.46E+07	8.14E+06	7.15E+06	9.37E+06
aluminio	2.40E+05	1.47E+06	1.69E+04	2.91E+05	1.20E+06	1.01E+06	5.65E+05	4.96E+05	6.50E+05
antimonio	4.55E+02	2.80E+03	3.39E+01	5.53E+02	2.28E+03	1.92E+03	1.07E+03	9.43E+02	1.24E+03
arsénico	5.63E+02	3.46E+03	5.65E+01	6.83E+02	2.81E+03	2.37E+03	1.33E+03	1.17E+03	1.53E+03
bario	9.32E+03	5.73E+04	8.38E+02	1.13E+04	4.66E+04	3.93E+04	2.20E+04	1.93E+04	2.53E+04
berilio	4.34E+01	2.66E+02	3.10E+00	5.26E+01	2.17E+02	1.83E+02	1.02E+02	8.98E+01	1.18E+02
bismuto	2.47E+01	1.52E+02	1.80E+00	3.00E+01	1.24E+02	1.04E+02	5.82E+01	5.12E+01	6.71E+01
boro	9.09E+03	5.58E+04	6.53E+02	1.10E+04	4.55E+04	3.83E+04	2.14E+04	1.88E+04	2.47E+04
cadmio	1.55E+02	9.55E+02	1.10E+01	1.89E+02	7.77E+02	6.55E+02	3.66E+02	3.22E+02	4.22E+02
calcio	1.25E+07	7.66E+07	9.49E+05	1.51E+07	6.23E+07	5.25E+07	2.94E+07	2.58E+07	3.38E+07
cromo	8.89E+03	5.46E+04	6.43E+02	1.08E+04	4.44E+04	3.75E+04	2.10E+04	1.84E+04	2.41E+04
cobalto	2.92E+03	1.79E+04	2.05E+02	3.54E+03	1.46E+04	1.23E+04	6.88E+03	6.05E+03	7.92E+03
cobre	4.44E+04	2.73E+05	3.25E+03	5.39E+04	2.22E+05	1.87E+05	1.05E+05	9.19E+04	1.20E+05
hierro	1.43E+05	8.81E+05	1.01E+04	1.74E+05	7.17E+05	6.04E+05	3.38E+05	2.97E+05	3.89E+05
plomo	3.41E+02	2.10E+03	2.43E+01	4.14E+02	1.71E+03	1.44E+03	8.04E+02	7.07E+02	9.26E+02
litio	1.32E+03	8.10E+03	9.94E+01	1.60E+03	6.59E+03	5.56E+03	3.11E+03	2.73E+03	3.58E+03
magnesio	1.89E+06	1.16E+07	1.43E+05	2.30E+06	9.46E+06	7.98E+06	4.46E+06	3.92E+06	5.14E+06
manganeso	6.09E+04	3.74E+05	4.46E+03	7.40E+04	3.05E+05	2.57E+05	1.44E+05	1.26E+05	1.65E+05
mercurio	5.65E+00	3.47E+01	4.19E-01	6.87E+00	2.83E+01	2.38E+01	1.33E+01	1.17E+01	1.53E+01
molibdeno	4.81E+04	2.96E+05	3.60E+03	5.84E+04	2.41E+05	2.03E+05	1.13E+05	9.97E+04	1.31E+05
níquel	1.37E+03	8.39E+03	9.80E+01	1.66E+03	6.83E+03	5.76E+03	3.22E+03	2.83E+03	3.71E+03
fósforo	5.64E+06	3.46E+07	4.14E+05	6.85E+06	2.82E+07	2.38E+07	1.33E+07	1.17E+07	1.53E+07
potasio	1.12E+06	6.86E+06	8.79E+04	1.36E+06	5.59E+06	4.71E+06	2.63E+06	2.31E+06	3.03E+06
selenio	1.61E+03	9.90E+03	1.17E+02	1.96E+03	8.06E+03	6.79E+03	3.80E+03	3.34E+03	4.37E+03
silicio	4.06E+06	2.49E+07	3.04E+05	4.93E+06	2.03E+07	1.71E+07	9.57E+06	8.41E+06	1.10E+07
plata	1.39E+02	8.53E+02	9.81E+00	1.69E+02	6.94E+02	5.85E+02	3.27E+02	2.88E+02	3.77E+02
sodio	1.44E+07	8.84E+07	1.04E+06	1.75E+07	7.20E+07	6.07E+07	3.39E+07	2.98E+07	3.91E+07

Tabla 3-2 Carga de Masa de Agua Subterránea Hacia los Receptores, en Estado Estacionario, en la Fase de Post-cierre (continuación)

Parámetro	Tajo Botija [g/año]	Río Uvero [g/ año]	Río Petaquilla[a] [g/ año]	Río Caimito A [g/ año]	Río Caimito B [g/ año]	Estanque de Limpieza [g/ año]	Estanque Este [g/ año]	Estanque Oeste [g/ año]	Depósito de Almacenamiento de Roca (DARE) Oeste [g/ año]
estroncio	3.72E+04	2.29E+05	3.30E+03	4.52E+04	1.86E+05	1.57E+05	8.77E+04	7.71E+04	1.01E+05
azufre	1.37E+07	8.40E+07	1.02E+06	1.66E+07	6.84E+07	5.76E+07	3.22E+07	2.83E+07	3.71E+07
talio	1.26E+01	7.73E+01	9.40E-01	1.53E+01	6.29E+01	5.30E+01	2.96E+01	2.61E+01	3.41E+01
estaño	7.70E+02	4.73E+03	6.80E+01	9.35E+02	3.85E+03	3.25E+03	1.82E+03	1.60E+03	2.09E+03
titanio	2.19E+03	1.35E+04	1.58E+02	2.66E+03	1.10E+04	9.24E+03	5.17E+03	4.54E+03	5.95E+03
uranio	6.23E+01	3.83E+02	5.04E+00	7.57E+01	3.12E+02	2.63E+02	1.47E+02	1.29E+02	1.69E+02
vanadio	4.81E+03	2.96E+04	3.43E+02	5.84E+03	2.41E+04	2.03E+04	1.13E+04	9.97E+03	1.31E+04
zinc	2.98E+04	1.83E+05	2.10E+03	3.62E+04	1.49E+05	1.26E+05	7.02E+04	6.17E+04	8.08E+04
zirconio	2.38E+02	1.46E+03	1.74E+01	2.90E+02	1.19E+03	1.00E+03	5.62E+02	4.94E+02	6.47E+02
amonio	3.82E+01	2.34E+02	2.17E+02	4.63E+01	1.91E+02	1.61E+02	8.99E+01	7.90E+01	1.04E+02
cianuro total	1.54E+04	9.49E+04	2.02E+03	1.88E+04	7.72E+04	6.51E+04	3.64E+04	3.20E+04	4.19E+04

[a] Debido al bajo caudal de agua subterránea al Río Petaquilla, las cargas de masa no alcanzan el estado estacionario en la fase de post-cierre.

Notas: g/año = gramos por año.

4 BIBLIOGRAFÍA

Anderson, M.P. (1984). Movement of Contaminants in Groundwater – Groundwater Contamination, Studies in Geophysics, Geophysics Study Committee (Movimiento de Contaminantes en el Agua Subterránea – Contaminación de Agua Subterránea, Estudios de Geofísica, Comité de Estudios Geofísicos, National Academy Press, p. 37-45.

GoldSim Technology Group (GTG) (2009). "GoldSim Probabilistic Simulation Environment – User's Guide" ("Ambiente de Simulación Probabilístico GoldSim – Guía del Usuario"). Versión 10.0, febrero de 2009.